

## Artigo Técnico

# Reaproveitamento do concentrado gerado por sistema de tratamento de água por osmose reversa em uma clínica de hemodiálise

*Reuse of concentrate generated from hemodialysis clinic water treatment reverse osmosis*

Paulo Gil Siqueira de Faria<sup>1</sup>, André Nagalli<sup>2</sup>, Flavio Bentes Freire<sup>3</sup>, Miguel Carlos Riella<sup>4</sup>

## RESUMO

O principal tratamento à doença renal crônica no Brasil, segundo o Censo Brasileiro de Nefrologia de 2013, é a hemodiálise, para a qual é necessária a utilização de água purificada em acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e com os padrões internacionais do FDA, *Food and Drugs Administration* e da *Association for Advancement of Medicine Instrumentation* (AAMI). Para atender aos parâmetros estabelecidos, utiliza-se processo de purificação por osmose reversa (OR), onde ocorre a separação do afluente, através da membrana semipermeável, restando de um lado a água purificada e do outro lado o concentrado. O presente estudo visa abordar a viabilidade qualitativa e quantitativa do reaproveitamento deste concentrado, através de estudo de caso em unidade de OR instalada em uma clínica de hemodiálise na cidade de Curitiba. Foi realizada a avaliação experimental, através de análises físico-químicas e microbiológicas do concentrado, buscando atender as quatro classes de reuso sugeridas pela ABNT NBR 13969/97. Também foram analisados os parâmetros amônia, cloreto, cloro residual livre, dureza e ferro totais, fluoreto, nitratos, nitritos, sulfatos, sólidos totais dissolvidos e coliformes totais e comparados com o padrão de potabilidade. O volume de concentrado foi medido através do uso de hidrômetros em pontos estratégicos. Observou-se que a clínica reaproveita cerca de 23% do concentrado. Os resultados obtidos atendem às quatro classes de reuso, porém deve-se observar o parâmetro fluoreto cujo valor mostrou-se igual ao limite imposto pela norma de água potável.

**Palavras chaves:** hemodiálise; reuso de águas residuais; concentrado; osmose reversa.

## ABSTRACT

According to the 2013 Brazilian Nephrology Census, the main chronic kidney disease treatment in Brazil is the hemodialysis, for which the use of purified water is needed according to the *Agência Nacional de Vigilância Sanitária* (ANVISA), the international standards from Food and Drug Administrations (FDA) and the *Association for Advancement of Medicine Instrumentation* (AAMI). The reverse osmosis process (RO) is used to achieve the established parameters where the feed is separated through a semipermeable membrane resulting in purified water in one side and the concentrate in the other one. The present study aims to evaluate the quantitative and the qualitative viability of reusing this concentrate through a case study in a Hemodialysis Clinic RO unit in the City of Curitiba. An experimental evaluation was carried out using the physical, chemical and microbiological analysis of the concentrate seeking to meet the four reuse classes according to ABNT NBR 13969/97. Also, the following parameters were analyzed according to the drinking pattern: ammonia, chloride, free chlorine, total hardness, total iron, fluoride, nitrates, nitrites, sulfates, total dissolved solids and total coliforms. The concentrate volume was measured through hydrometers at strategic points. A concentrate reuse of about 23% by the clinic was observed. The achieved results meet the four classes of reuse, but it was observed that the fluoride parameter result was equal to the drinking water standard limit.

**Keywords:** hemodialysis; wastewater reuse; concentrate; reverse osmosis.

<sup>1</sup>Engenheiro de Produção Civil, Mestrando em Engenharia Civil, Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Curitiba (PR), Brasil.

<sup>2</sup>Engenheiro Civil, Doutor em Geologia, Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Curitiba (PR), Brasil.

<sup>3</sup>Doutor, Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Curitiba (PR), Brasil.

<sup>4</sup>Doutor, Departamento de Medicina, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR) - Curitiba (PR), Brasil.

**Endereço para correspondência:** André Nagalli - Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 4900 - 81280-340 - Curitiba (PR), Brasil - E-mail: nagalli@utfpr.edu.br

**Recebido:** 10/08/13 - **Aceito:** 18/08/15 - **Reg. Abes:** 122029

## INTRODUÇÃO

A técnica da hemodiálise vem sendo amplamente utilizada no tratamento de pacientes com problemas renais. Estes são expostos a 360 litros de água por semana, um volume substancialmente maior em comparação à população normal cujo consumo habitual para ingestão é de aproximadamente 10 litros por semana. Normalmente, estes pacientes são submetidos a um tratamento semanal de 3 sessões de hemodiálise de 4 horas cada, ou seja, um esquema tradicional de 12 horas semanais. Para cada sessão é necessário um volume de aproximadamente 90 litros de água purificada que entrarão em contato com o sangue do paciente através da membrana semipermeável do filtro dialisador (RIELLA, 2010).

No passado, uma das maiores preocupações em clínicas de hemodiálise, era produzir água de qualidade que garantisse segurança para o paciente (RIELLA, 2010). Muitas experiências foram realizadas, incluindo acreditar que era possível utilizar água potável para este tratamento. Sem sucesso, outras técnicas de tratamento foram empregadas, até finalmente se consolidar o uso do processo de osmose reversa (TONG *et al.*, 2001). Com o domínio desta técnica de purificação de água, o tratamento para os pacientes renais tornou-se mais seguro, pois a utilização de membranas para separação da água pelo princípio de osmose reversa garante uma purificação segura, eliminando entre 95 e 99% das partículas orgânicas, inorgânicas e microrganismos presentes no afluente utilizado (SILVA *et al.*, 1996). Os elementos retidos pela membrana são concentrados ou separados pela mesma e por este motivo este líquido é conhecido como concentrado ou rejeito.

Durante o tratamento da água são retidas diversas substâncias indesejáveis. No Brasil, os regulamentos que regem a hemodiálise abrangem a Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 154, de 15 de junho de 2004, recentemente substituída pela RDC 11, de 13 de março de 2014, as quais estabelecem o regulamento técnico para o funcionamento dos serviços de diálise; e a RDC nº 33, de 3 de junho de 2008, que dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração, avaliação e aprovação dos Sistemas de Tratamento e Distribuição de Água para hemodiálise no Sistema Nacional de Vigilância Sanitária, além das normas internacionais, seguidas pela Comunidade Europeia e as normas sugeridas pela *Association for the Advancement of Medical Instrumentation* (AAMI) nos E.U.A.

No passado, a desinfecção consistia na adição de cloro ao reservatório de água purificada, visando eliminar a colonização por microrganismos e a consequente formação de biofilmes. Neste processo, era necessária concentração de cloro de 500 ppm e um tempo mínimo de contato com todo o sistema. Porém, de acordo com os padrões de qualidade de água para hemodiálise, estabelecidos pela RDC 11 de 2014, concentrações superiores a 0,5 ppm são prejudiciais aos pacientes renais. Por este motivo, era necessário um longo processo de enxágue e testes de cloro, até que o mesmo estivesse dentro dos valores seguros e aceitáveis para a hemodiálise, o que gerava um volumoso desperdício. Com

os avanços tecnológicos, as clínicas de hemodiálise passaram a utilizar geradores de ozônio para garantir o controle microbiológico do sistema de distribuição da água purificada, e com esta atitude, pode-se evitar este grande desperdício, pois não há necessidade de realizar enxágues para remoção do gás ozônio, justamente pela sua volatilidade que garante uma eliminação natural.

Outra forma de racionalizar o consumo de água, em clínicas de hemodiálise, seria reaproveitar o descarte ou concentrado gerado pelo tratamento da água por sistema de osmose reversa e este é o objetivo principal deste estudo, pois o concentrado originado por este sistema, poderia ser reaproveitado, utilizando-se técnicas simples que permitissem o reuso para fins menos nobres, como a limpeza de calçadas e sanitários, por exemplo. Como este líquido é desprezado diariamente nestas clínicas, o reuso do mesmo garantiria um benefício que se estenderia para além da clínica, mas também para a sociedade e o meio ambiente, visto que as tecnologias de reaproveitamento de água servida abrangem desde a simples recirculação de água de enxágue de máquinas de lavar roupas, para uso em vasos sanitários, até a aplicação de processos mais sofisticados de remoção de poluentes, visando alternativas mais específicas, que poderiam ser direcionadas para além do uso local com o objetivo de suprir a demanda de áreas próximas. Neste caso, busca-se através de análises de amostras de água deste meio definido como concentrado, as aplicações e soluções que possam ser utilizadas para o reuso do mesmo, sem comprometer a qualidade da água destinada aos pacientes renais.

## METODOLOGIA

Para avaliação do resíduo líquido, denominado por rejeito ou concentrado, originado na produção de água tratada ou permeada para fins de hemodiálise, foi escolhida uma, situada na cidade de Curitiba, por apresentar um sistema de purificação de água, em duplo passo, ou seja, com dupla purificação por osmose reversa. Também, por apresentar um sistema de reaproveitamento do concentrado em vasos sanitários, na limpeza de calçadas e irrigação do jardim interno. Neste centro satélite, termo utilizado para definir clínicas que estão fora do ambiente hospitalar, estão instaladas 32 máquinas de hemodiálise, o que permite um atendimento para até 96 pacientes por dia, considerando três turnos diários. Normalmente, estes pacientes são submetidos a 3 sessões semanais de diálise, o que corresponde a cerca de 576 sessões por semana e aproximadamente 2.304 sessões por mês.

### Determinação da quantidade do rejeito

Na avaliação do concentrado, a primeira etapa foi mensurar o volume gerado no processo em questão, num período de 30 dias. Neste mesmo período, foram registradas o número de pacientes em tratamento e as diálises realizadas, com o objetivo de se estabelecer a proporção entre o volume de água empregado no processo e o total de sessões de diálise.

Logo, a partir destes dados, torna-se possível a determinação da quantidade de água rejeitada para cada paciente e o custo despendido para mesma.

O volume do concentrado foi determinado a partir da instalação de dois hidrômetros, sendo o primeiro instalado nas tubulações do descarte das membranas e o segundo, instalado na tubulação existente na saída do reservatório que armazena a água concentrada e destinada ao reuso. Desta forma, foi possível determinar o volume descartado pelas membranas do tratamento e seu respectivo aproveitamento pelas instalações da clínica.

Optou-se por este método, pois o mesmo proporciona uma leitura do fluxo mais fidedigna, uma vez que os hidrômetros permanecem monitorando o volume que por eles passam instantaneamente, sem a necessidade de monitorar o tempo em funcionamento da Estação de Tratamento de água (ETA). Como no equipamento existem rotâmetros que monitoram o fluxo de água tratada e os fluxos de concentrado, foi realizado um cruzamento de informações comparando a avaliação diária das medidas instantâneas apresentadas pelos rotâmetros, durante a produção de água tratada, e a leitura dos hidrômetros do concentrado. Com estas informações foi possível calcular, com maior precisão, o volume de *permeado* ou filtrado e o volume do concentrado descartado pela osmose reversa.

Os equipamentos projetados para produção de água em hemodiálise normalmente possuem um tanque de armazenamento hermeticamente fechado, dotado de material inerte, que garante menos riscos de contaminação microbológica e com isto torna-se possível melhor controle para se evitar a proliferação de biofilmes e bactérias. Neste tanque estão instalados sensores de nível que controlam o funcionamento do equipamento, ou seja, quando o sensor está no nível mínimo, o equipamento é

ligado para produção e quando o tanque atinge o nível máximo, o mesmo cessa a produção. Isto dificulta conhecer o tempo de produção diária, pois a produção varia, de acordo com a demanda de pacientes e também por procedimentos realizados pela equipe de enfermagem. Por este motivo, a simples leitura dos rotâmetros seria insuficiente para a determinação do volume total produzido e descartado diariamente. Porém, a partir da instalação dos hidrômetros, torna-se possível a determinação do volume tratado e descartado, pois a leitura dos rotâmetros fornecesse a taxa instantânea de produção e de rejeição e o hidrômetro fornece a leitura diária do volume que atravessou esta tubulação. Com estas informações pode-se determinar a porcentagem de recuperação da água do rejeito adotado pela ETA com base na Equação 1, e conhecida esta porcentagem, pode-se calcular o volume da produção diária, visto que se conhece o volume diário de concentrado descartado por dia, graças ao hidrômetros instalados.

$$\% \text{ Rec} = \frac{Q_p}{Q_t} \times 100 \quad (1)$$

Em que:  $Q_p$ ; Fluxo de água permeada;  $Q_t$ ; Fluxo entrada de água ou fluxo total.

Este percentual, que indica quanto é possível produzir, dentro dos fatores de qualidade necessários, facilitará os cálculos estimativos de água permeada diariamente, pois parte do volume de rejeito retorna à primeira membrana, através do sistema de recirculação, visando menor desperdício do rejeito, conforme ilustra a Figura 1.

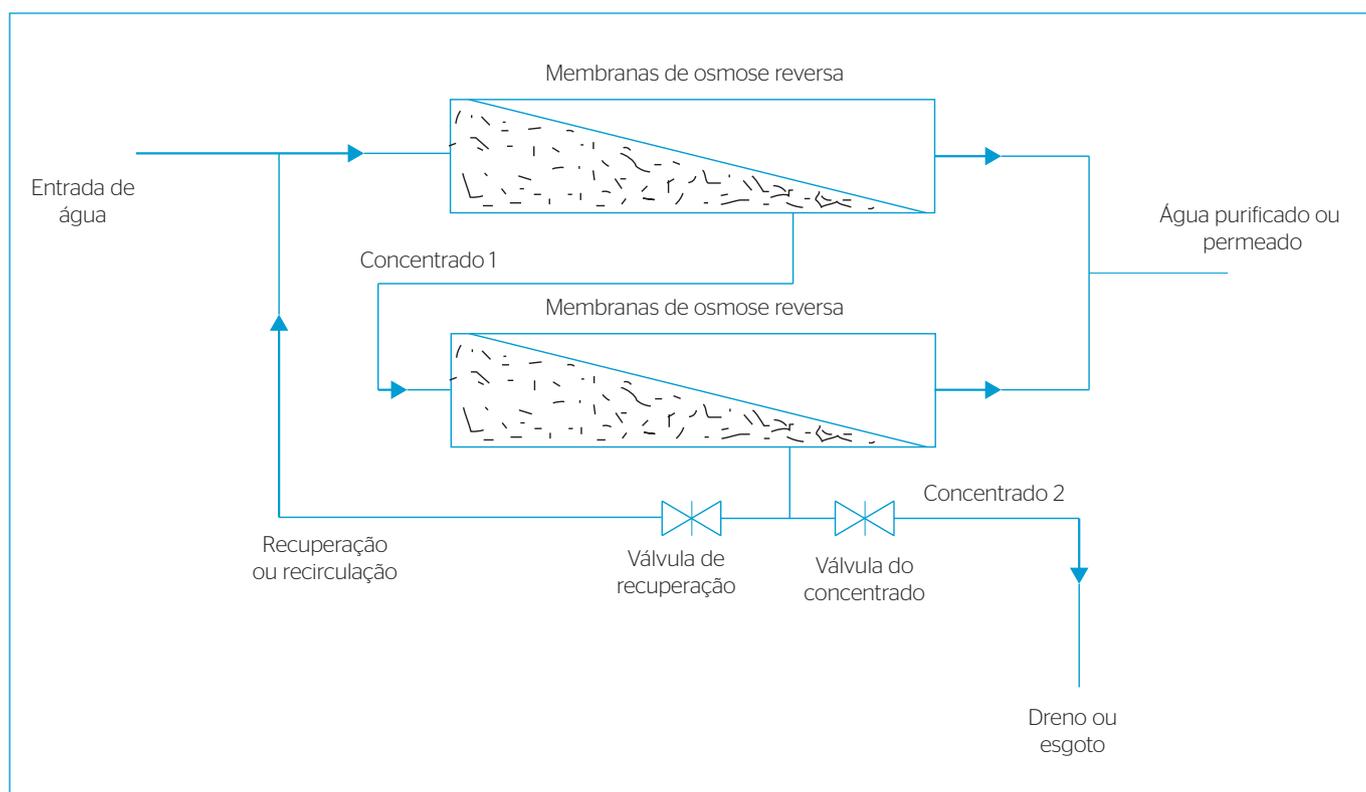


Figura 1 - Esquema simplificado produção de água por osmose reversa.

Conhecendo-se o percentual de recirculação ou recuperação do rejeito e o volume de água diário descartado pelas membranas, o qual é medido pelo hidrômetro instalado na tubulação do concentrado, foi possível determinar o volume de água permeada por dia, sem a necessidade de instalação de medidor na tubulação de água tratada, o que encareceria o experimento. Conhecidos estes dados, e a partir da *Tabela de Tarifas de Saneamento Básico*, que determina o custo da água oferecida pela concessionária local, somado ao custo destinado a tratamento de esgoto no município em questão, pode-se determinar o custo mensal e o custo por sessão de diálise para este fim.

### Análise qualitativa do rejeito

Com o objetivo de encontrar possíveis aplicações para o reaproveitamento do rejeito, tomou-se como referência a Portaria MS nº 518/04 (que estabeleceu o padrão de potabilidade de água e que durante o estudo foi substituída pela Portaria MS nº 2.914/11) e a NBR 13969/97, na qual são abordados os padrões relacionados ao tratamento e a disposição final dos efluentes de tanques sépticos. Nesta norma há uma referência para padrões de reuso de água, subdividido em quatro classes de qualidade:

- I. na classe 1, a turbidez deve ser inferior a cinco, os coliformes fecais inferiores a 200 NMP.100 mL<sup>-1</sup>; os sólidos dissolvidos totais inferiores a 200 mg/L<sup>-1</sup>; o pH entre 6,0 e 8,0 e o cloro residual entre 0,5 e 1,5 mg/L<sup>-1</sup>;
- II. na classe 2, não está prevista a análise de sólidos dissolvidos totais e nem o pH, a mesma permite até 500 NMP.100 mL<sup>-1</sup> para coliformes fecais e admite cloro superior a 0,5 mg/L<sup>-1</sup>;
- III. na classe 3, a turbidez pode ser superior a 5 mas não deve ser maior que 10, o limite de coliformes fecais é semelhante ao da classe 2 e não prevê a avaliação de cloro, pH e sólidos dissolvidos totais;
- IV. finalizando, na classe 4, o máximo de coliforme fecal permitido é de 5000 NMP.100mL<sup>-1</sup> e não requer as demais análises, citadas nas classes anteriores, mas orienta a avaliação oxigênio dissolvido acima 2,0 mg/L<sup>-1</sup>.

A NBR 13969/97 é complementar à NBR 7229/93, que trata sobre projetos, operação e execução de tanques sépticos, destinados para os mais diversos tipos de esgoto. No entanto, a água descartada pelas membranas de osmose reversa possui as características organolépticas como cor, odor, sabor e turvação extremamente superiores à maioria dos demais efluentes de esgoto que esta NBR regulamenta. Diante deste fato, optou-se por fazer uma análise físico-químicos dos elementos amônia, cloreto, cloro residual livre, dureza e ferro totais, fluoreto, nitratos, nitritos, sulfatos, sólidos totais dissolvidos e coliformes totais, usando como referência o padrão de potabilidade.

A metodologia aplicada pelos laboratórios para as análises é baseada em *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), além de parâmetros determinados pelo laboratório em concordância com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária. São utilizadas pelos

laboratórios as normas técnicas para a avaliação da água de consumo, por meio do grupo de ensaio microbiológicos e ensaio físico-químico, tendo como produtos a água de abastecimento, com base na NBR ISO/IEC 17025. Além destas normas, foram utilizados os seguintes padrões validados:

- I. HACH: Hach Company. *Water Analysis Handbook*;
- II. Merck (*Food & Environmental Analysis*).

Um fator que facilitou o estudo foi o fato de a clínica já possuir uma cisterna extra de com capacidade para 10 m<sup>3</sup>, a qual foi utilizada para o armazenamento do concentrado. Porém para que esta água pudesse ser utilizada, foi necessário implantar um reservatório elevado, visando sua distribuição para as torneiras instaladas nas áreas externas da clínica. Este segundo reservatório tem capacidade para armazenamento de aproximadamente 20 m<sup>3</sup> e é alimentado por duas bombas de recalque instaladas juntas a cisterna.

Como o cloro é previamente removido pelo filtro de carvão ativado, existente no pré-tratamento da ETA, tornou-se necessária a adição cloro, visando a prevenção para inibir a proliferação de biofilmes e micro organismos na tubulação. Para isto, foi determinado o tempo de detenção para os dois reservatórios, através do cálculo do quociente entre a capacidade de armazenamento e a vazão de entrada, pois a partir deste dado, torna-se possível determinar o intervalo adequado para adição do cloro, o qual é realizado com diluição de hipoclorito de sódio na cisterna.

Para a avaliação de presença de bactérias heterotróficas foram colhidas amostras de em dois pontos, sendo o primeiro no reservatório de água do rejeito, a montante, e o segundo, uma das torneiras à jusante, que se encontra instalada no estacionamento da clínica. A análise foi realizada de acordo com o princípio de semeadura em superfície e o meio de cultura utilizado foi o *Plate Count Agar* (PCA) (FUNASA, 2009).

## RESULTADOS

### Quantitativos

O tempo de detenção obtido para a cisterna de 10 m<sup>3</sup> foi de 1,45 dias e para o reservatório de 20 m<sup>3</sup> foi calculado 14,5 dias. Com estes resultados foi atribuindo um intervalo semanal para adição de cloro ao segundo reservatório, onde a água fica armazenada por mais tempo. Na Figura 2 são apresentados os fluxos da água, obtidos quando o equipamento de osmose reversa está em operação e indicados pelos rotâmetros inerentes ao mesmo, além de apresentar a porcentagem de rendimento. Sendo assim, o fluxo de permeado médio ( $Q_{p2}$ ) foi medido em 38,29 ± 1,51 L/min<sup>-1</sup> e o fluxo do rejeito ( $Q_r$ ), em 16,14±1,01 L/min<sup>-1</sup>. Para esta produção, foram necessários em média 61,14±1,01 L/min<sup>-1</sup>, que é a soma do fluxo do permeado do primeiro passo ( $Q_{p1}$ ) com o fluxo de rejeito ( $Q_r$ ). A taxa de recirculação foi calculada a partir da Equação 1, utilizando os fluxos  $Q_{p2}$  e  $Q_{p1}$ , sendo o resultado médio obtido em 62,6±3,52%.

$$\% \text{ Rec} = \frac{38,29 \pm 1,51}{61,14 \pm 1,01} \times 100 \quad (2)$$

Em que:  $Q_n$ : Fluxo de água permeada;  $Q_e$ : Fluxo entrada de água ou fluxo total.

Os reservatórios para abastecimento da clínica têm capacidade para armazenar cerca de 100 m<sup>3</sup> de água, volume suficiente para atender a clínica por até quatro dias. De acordo com os resultados apresentados pela medição do hidrômetro 1 (Figura 3), o mesmo indica um abastecimento diário ( $Q_{n1}$ ) de 25,02±2,06 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>. Nesta mesma Figura 3, está apresentado o volume do rejeito ( $Q_{h2}$ ) equivalente ao  $Q_e$ , porém avaliado pelo hidrômetro 2, o qual registrou cerca de 6,92±0,63 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de água

descartada pelas membranas. Deste volume, apenas 1,38±0,16 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> é reaproveitado pela clínica por dia, conforme indicação ( $Q_{h3}$ ) do hidrômetro 3, para vasos sanitários e limpeza do pátio interno. Com base nos valores mensurados pelos hidrômetros, pode-se calcular o volume médio de permeado ( $Q_{p2}$ ) em 11,73±1,89 m<sup>3</sup>/dia, o qual somado ao volume de rejeito ( $Q_{h2}$ ), representa a quantidade estimada de entrada nas membranas ( $Q_e$ ), cujo valor médio foi de 18,62±2,19 m<sup>3</sup>/dia<sup>-1</sup>. Portanto, do total de água ( $Q_e$ ) que passou pelas membranas, 37 ± 4% é rejeitado por elas e deste volume, são reaproveitados, em média, 20±2% do rejeito. Pelo gráfico da Figura 3, pode-se constatar que o volume diário de água potável ( $Q_p$ ) utilizada para outros fins, como lavagem das mãos e lavanderia é de aproximadamente 6,37±1,96 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, que é o resultado da diferença entre a medição do hidrômetro 1 ( $Q_{n1}$ ) e o volume calculado de água que entra na membrana ( $Q_e$ ).

Com base na Tabela 1, 46,9±6,7% de todo o abastecimento diário é purificado e para isto, são descartados 22, ±1,7%, com um reaproveitamento de 5,5±0,6% para uso em sanitários e limpezas externas dos pátios, os demais 25,4±7,2% são utilizados para outros fins, como pias de banheiros, bancadas de limpeza de fistulas e lavanderias.

Com a hipótese de nenhum reaproveitamento do rejeito, o consumo diário para abastecimento total da clínica passaria de 25 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> (25 mil L.dia<sup>-1</sup>) para 26,4 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> (26,4 mil L.dia<sup>-1</sup>), de acordo com a Figura 4.

Neste período de estudo, foram realizadas cerca de 64±9 sessões de diálise por dia, conforme a Tabela 2. Pelo quociente entre os dados calculados de permeado e a quantidade de atendimentos diários, pode se afirmar que, para cada paciente, foram necessários aproximadamente 287 L de água por sessão, sendo que deste total, 106,5 L são para o rejeito e 180,5 L para permeado, conforme se pode observar na Tabela 3. Na Tabela 4 pode-se

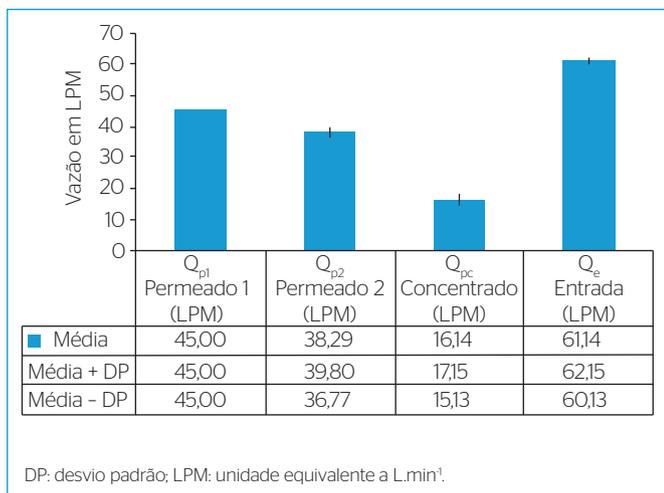


Figura 2 - Fluxos indicados pelos rotômetros, quando osmose reversa está em funcionamento.

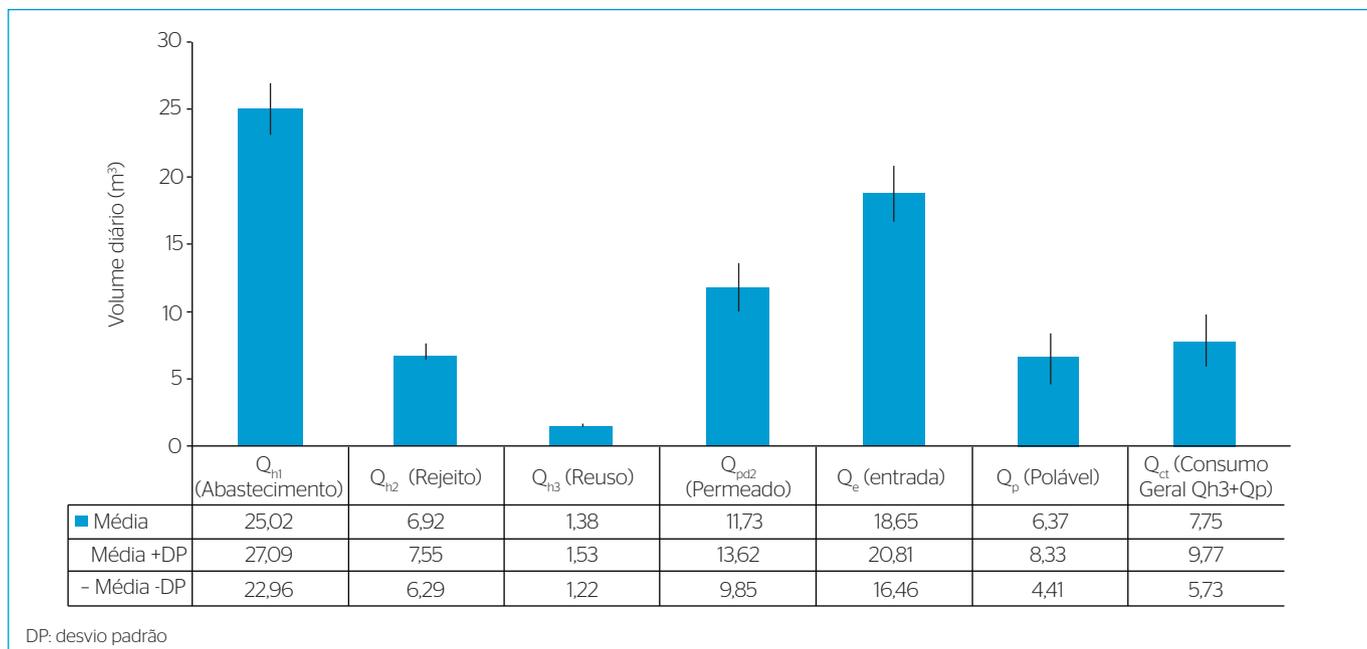


Figura 3 - Principais resultados de fluxo de água monitorados pelos hidrômetros e calculados com base nas leituras dos mesmos.

visualizar o custo mensal e por sessão para produção de água tratada, ou seja, R\$ 4.087,65 e R\$ 2,37, respectivamente. Também, pode-se avaliar o custo mensal e por sessão com desperdício do rejeito, que totalizam R\$ 1.214,21 e R\$ 0,70, respectivamente. Nestes resultados, já estão incluídos o volume de permeado para cada sessão de diálise e também para os demais procedimentos que envolvem o

tratamento, ou seja, o reuso de dialisares e linhas extra corpóreas, desinfecção dos equipamentos e manutenção do tratamento de água.

Considerando-se que a maioria das máquinas trabalham com um fluxo da solução de diálise de 0,5 L.min<sup>-1</sup> e aproximadamente 0,47 L deste fluxo são de água permeada e tomando a referência da Tabela 3, que para cada sessão foram necessários 3h35min, em média, pode-se determinar um consumo por paciente de 101,1 L, ou seja, 56% do que é produzido é utilizado diretamente no tratamento de hemodiálise e o restante para os outros fins.

**Tabela 1 - Comparativo entre reuso do rejeito para vasos sanitários e limpeza de pátios e descarte total do mesmo.**

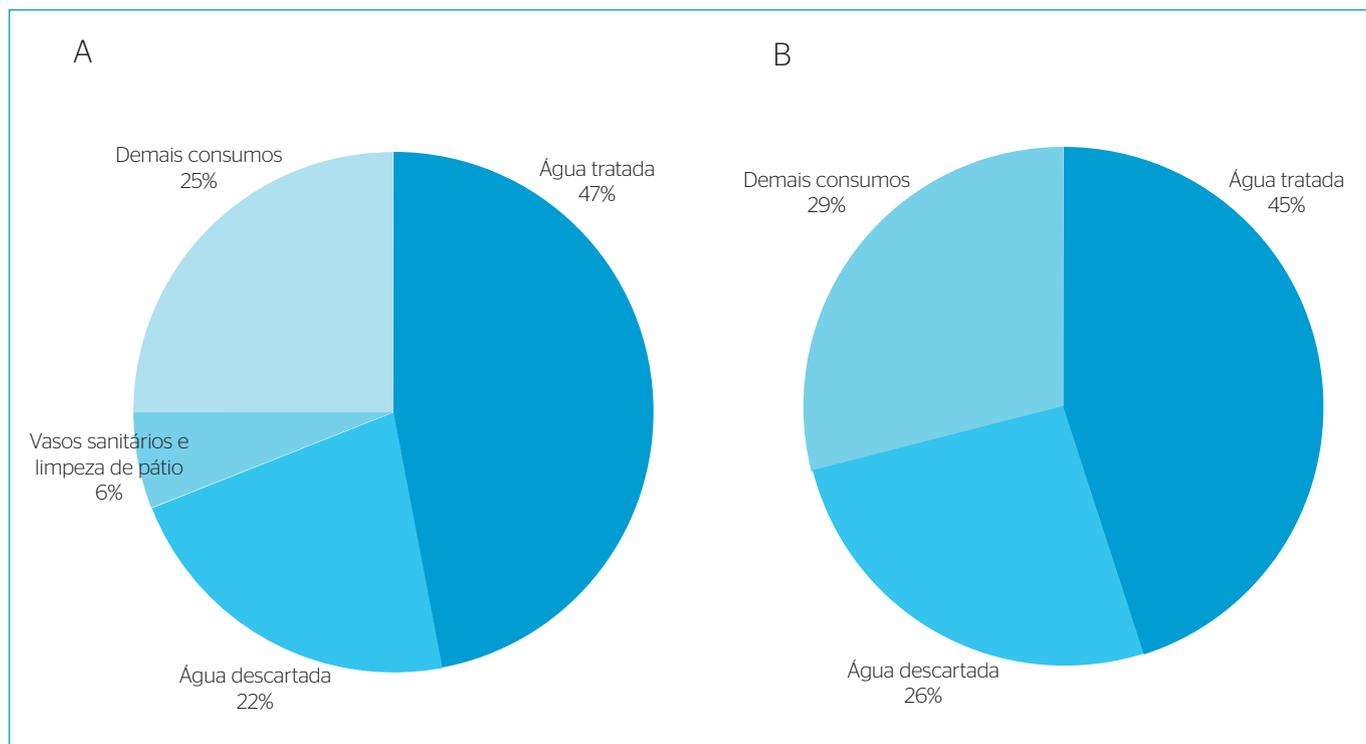
	Media %	SD %
Reuso do rejeito*		
Qpd calculado	46,9	6,7
Qrd calculado	22,2	1,7
Qrc calculado	5,5	0,6
Qcd calculado	25,4	7,2
Descarte do rejeito**		
Qpd calculado	44,5	6,5
Qrd calculado	26,2	1,9
Qrc calculado	0	0
Qcd calculado	29,3	7,00

\*Considerando reuso de 20% do rejeito; \*\*Considerando descarte total do rejeito

### Qualitativos

Os resultados, para os parâmetros físicos químicos, estão descritos na Tabela 5, assim como os resultados micro biológicos, como se segue:

- Coliformes Totais e Coliforme Termos tolerantes – com resultados menores que 1,1 NMP.100 mL<sup>-1</sup> para ambos, como o Limite de Quantificação do Método Analítico Utilizado é de 1,1 NMP, segundo nota do laudo, admite-se a ausência em 100 ml da amostra;
- Oxigênio Dissolvido – com resultado igual a 7,41 mg.L<sup>-1</sup>, sendo que o valor mínimo de 2,0 mg.L<sup>-1</sup>;



**Figura 4 - Comparativo de consumo de água na Clínica Evangélico . (A) Consumo de água da clínica para cada 25 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, considerando o reaproveitamento de 20% do rejeito; (B) consumo de água da clínica para cada 26,4 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, considerando descarte total do rejeito.**

**Tabela 2 - Pacientes em tratamento no período de estudo**

	Média	DP	Mínimo	Máximo
Hemodiálise por dia	64	9	51	75
Horas de diálise por paciente	3:35	0:03	3:26	3:40

**Tabela 3 - Consumo de água por paciente.**

Vp (L)	Vr (L)	Vrd (L)	Custo do descarte
180,5	106,5	85,2	R\$ 0,52

Vp: volume de água produzida ou tratada (permeado); Vr: volume de rejeito (água); Vrd: volume de rejeito descartado.

- Bactérias Heterotróficas – ausência de unidades formadoras de colônias (UFC) para o reservatório de água e três UFCs para a torneira a jusante.

## DISCUSSÕES

Dentre os principais achados da pesquisa quantitativa, pode-se confirmar que o volume de água utilizado especificamente para o tratamento dos pacientes é bem superior aos demais consumos demandados pela clínica, os quais poderiam ser supridos, não considerando a questão qualitativa, apenas com a quantidade descartada pelas membranas. Todavia, a simples utilização do rejeito para vasos sanitários e limpezas de pátios representa uma porcentagem pequena, pois conforme os resultados qualitativos, há um potencial expressivo que a mesma oferece e que poderiam ser melhor aproveitados. Pois, continua-se desperdizando 22% de toda a água abastecida diariamente, ou seja, analisando o volume de rejeito, cerca de 80% do mesmo continua descartado. De acordo com a *Tabela de Tarifas de Saneamento Básico*, o custo da água oferecida pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), somado ao custo com esgoto em Curitiba, é de R\$ 8,27/m<sup>3</sup>. Portanto, mesmo com o reuso de parte do rejeito, há um ainda um desperdício mensal de R\$ 1.214,21, ou R\$ 0,70 por sessão. Ou seja, se clínica não o reaproveitasse, o desperdício mensal seria de R\$ 1.516,28 ou R\$ 0,88 por sessão de diálise. Logo, há uma margem considerável de rejeito que pode ser reaproveitado.

Nota-se que dos parâmetros físico-químicos analisados, os parâmetros amônia, cloreto, cloro residual livre, cor aparente, dureza total, ferro total, nitrato, nitrito, sulfato, sólidos dissolvidos totais, turbidez, pH estão em conformidade com os limites estabelecidos pela legislação/normatização. Destaca-se a condição do parâmetro fluoreto, cujo resultado de 1,5 mg.L<sup>-1</sup> é igual ao valor máximo permitido também igual a 1,5 mg.L<sup>-1</sup>. Atribui-se tal fato à fluoretação da água. Como a membrana de osmose reversa é bastante seletiva, possivelmente todo o flúor adicionado pela companhia de saneamento do município, foi removido pela mesma e consequentemente toda a concentração do fluoreto passou para a água do rejeito.

A obrigatoriedade da fluoretação das águas de abastecimento público no Brasil é dada pela Lei Federal nº 6.050/74. Para o Estado do Paraná, a Portaria nº 635/75 especifica os níveis do flúor como função da média das temperaturas máximas diárias do ar, definindo este teor em 0,6 a 1,1 mg de flúor por litro de água. Esta quantidade evita a superconcentração da substância, qual pode ocasionar fluorose nos dentes (MORAES *et al.*, 2009).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) definiu como adequada para fluoretação de águas de abastecimento a faixa que varia entre 1,0 a 1,5 mg de fluoreto para cada litro de água (MORAES *et al.*, 2009). Já a *Environmental Protection Agency* (EPA, 2011), nos Estados Unidos, define que o nível máximo permitido para água reservada ao consumo humano é de 2,0 mg.L<sup>-1</sup>. Embora apresente nível abaixo do limite máximo permitido pelo padrão norte americano (EPA), o resultado foi igual ao valor máximo permitido pelo método empregado e acima do valor preconizado pelo referencial estadual, o que impõe zelo no que concerne aos fluoretos nesta água de rejeito, especialmente quando utilizada para fins potáveis.

No que tange ao parâmetro Oxigênio Dissolvido, com resultado igual a 7,41 mg.L<sup>-1</sup>, este foi analisado para qualificar a amostra de acordo com a Classe 4 da NBR 13969/97, que determina valor mínimo de 2,0 mg.L<sup>-1</sup> para reuso em cultivos como pomares, cereais ou mesmo para uso em pastagens de gato, por exemplo. Desta forma, atendeu-se integralmente ao requisito.

**Tabela 5 – Resultados físico-químicos e biológicos analisados da água de rejeito.**

Parâmetros	Resultado	Máximo Permitido	Unidade
Amônia	<0,02	1,5	mg.L <sup>-1</sup>
Cloreto	278	250,0	mg.L <sup>-1</sup>
Cloro residual livre	1,33	0,2 a 5,0	mg.L <sup>-1</sup>
Cor aparente	<2,5	15	Um PtCo
Dureza total	1,0	500	mg.L <sup>-1</sup>
Ferro total	0,15	0,3	mg.L <sup>-1</sup>
Fluoreto	1,5	1,5	mg.L <sup>-1</sup>
Nitrato - N	3,2	10,0	mg.L <sup>-1</sup>
Nitrito - N	0,007	1,0	mg.L <sup>-1</sup>
Oxigênio dissolvido	7,41		mg.L <sup>-1</sup>
Sulfato	<10	250,0	mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos dissolvidos totais	254	1.000,0	mg.L <sup>-1</sup>
Turbidez	0,99	5,0	NTU
pH	6,84	6,0 a 9,5	-
Coliformes totais	<1,1	Ausência	NMP/100 mL <sup>-1</sup>
Coliformes termotolerantes	<1,1	Ausência	NMP/100 mL <sup>-1</sup>

**Tabela 4 – Cálculo dos custos associados ao sistemas de água com base na Tabela de tarifas de saneamento básico da Companhia de Saneamento do Paraná. Contas vencíveis a partir de 21 de março de 2012.**

Item	Água permeada		Água do rejeito		Custo total de produção (R\$)	Água descartada	
	Volume (m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)	Volume (m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)		Volume (m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
Por sessão	0,18	1,49	0,11	0,88	2,37	0,09	0,70
Por dia	11,73	97,03	6,92	57,22	154,25	5,54	45,82
Por mês	310,93	2.571,37	183,35	1.516,28	4.087,65	146,82	1.214,21
Por ano	3731,13	30.856,49	2200,16	18.195,35	49.051,84	1761,86	14.570,54

Custo por m<sup>3</sup> de água e esgoto = R\$ 8,27.

Em relação aos parâmetros microbiológicos, nota-se que tanto o parâmetro coliformes totais quanto o coliformes termo-tolerantes apresentaram-se em valores abaixo dos limites de quantificação adotados, possivelmente pelo fato de haver a preservação dos reservatórios com adição semanal de hipoclorito a 10%, o que possibilitou, nesta análise, o controle microbiológico.

O resultado desta análise apresentou ausência de UFC para o reservatório de água e três UFCs para a torneira a jusante. De acordo com a Portaria MS nº 518/04 a contagem de bactérias heterotróficas prevê a determinação da densidade de bactérias capazes de produzir UFC, na presença de compostos orgânicos contidos em meio de cultura apropriada, sob as condições pré-estabelecidas de incubação:  $35,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$  por 48 horas. Esta portaria define a contagem a cada 20% das amostras mensais para análise de coliformes totais cujo valor limite é de 500 UFC por mL.

Com base nestes dados, pode-se afirmar que a qualidade deste efluente atende às quatro classes de reuso prevista na NBR 13969/97. O que significa que a mesma pode ser empregada desde irrigação em pomares, pastagens de gados, descargas de vasos sanitários, manutenção de lagos, paisagismo até lavagem de automóveis, uso em chafarizes, dentre outros usos que requeiram contato direto com o usuário.

Através deste estudo, pode-se observar que o Brasil precisa avançar no que diz respeito à questão de reaproveitamento de água, pois há uma carência de referenciais mais relevantes para este procedimento. A NBR 13969/97 – *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*, utilizada como referência, é bastante abrangente e apenas um dos tópicos é destinado ao reaproveitamento de água local, o restante trata dos demais processos de projeto e destinação de efluentes líquidos para lançamento em corpo receptor.

Seria necessária a criação de um instrumento regulamentador que determinasse mais padrões de reutilização de água, visando identificar parâmetros de análises mais condizentes com a realidade socioeconômica do país, assim como abordar novas classes de referência além das apresentadas na NBR 13969/97. Como observado, a qualidade de água do rejeito de um tratamento de água por osmose reversa, destinado a clínicas de hemodiálise, têm-se demonstrado muito acima das expectativas de

um efluente comum, normalmente oriundo de processos mais agressivos como, por exemplo, no tratamento de efluentes de indústrias químicas.

## CONCLUSÕES

Tanto do ponto de vista microbiológico quanto físico-químico, os resultados das amostras coletadas mostraram-se adequados para classificação da água em vários procedimentos de reuso, ao dar atendimento às quatro classes sugeridas pela NBR 13969/97. Todavia, a ausência de padrões nacionais mais específicos para o reaproveitamento de água, impede melhor uso do rejeito gerado pelo tratamento de água, em clínicas de diálise. Pois há uma lacuna qualitativa muito grande entre esta norma, que prevê reuso de certos efluentes de esgoto e o padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde. Ou seja, os parâmetros para reuso de efluentes são poucos para garantir maior uso deste líquido e não seria viável, economicamente para uma clínica, analisar todos os parâmetros para água potável.

Como a clínica em estudo já reutiliza esta água do rejeito para limpeza das calçadas e vasos sanitários, o próximo passo seria encontrar alternativas para o melhor reaproveitamento da mesma, visto que ainda são desperdiçados 80% deste líquido. Para reutilizá-la em outros setores da clínica, poderia ser previsto um tratamento deste efluente, visando aproximá-lo da água potável, como, por exemplo, o uso de membranas ultrafiltrantes e adição controlada de cloro, através de dosadores automáticos. No entanto, poderia ser necessário realizar procedimentos que validassem o processo, como controles da qualidade após o tratamento, incluindo as análises de radioatividade e os demais padrões de potabilidade.

Estender o uso desta água de rejeito para além do perímetro da clínica, seria uma alternativa possível. Porém, a viabilidade deste processo dependeria de medidas externas à clínica, ou de interesse por parte de outras iniciativas privadas ou públicas para uso pela comunidade, como por exemplo, no combate a incêndios, lavagem de carros, irrigação de jardins. A água é recurso natural inestimável, que deve ser bem tratada, com uso racional e consciente, para que, no futuro, a mesma possa continuar exercendo o seu ciclo natural.

## REFERÊNCIAS

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (2005) *Standard methods for examination of water and wastewater*. 21<sup>st</sup> ed. EATON.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. (2009) *Manual prático de análise de água*. Assessoria de Comunicação e Educação em Saúde. Brasília.

MORAES, J.E.; QUINÁIA S.P.; TAKATA, N.H. (2009) Determinação do índice de fluoreto em águas de abastecimento público em municípios da região centro-sul do Paraná. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, p. 33-246.

RIELLA, M.C. (2010) *Princípios de nefrologia e distúrbios hidroeletrólitos*. 5<sup>a</sup> ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

SILVA, A.M.; MARTINS, C.T.; FERRABOLI, R.; JORGETTI, V.; ROMÃO JR, J.E. (1996) Revisão/atualização em diálise: água para hemodiálise. *Jornal Brasileiro de Nefrologia* v. 18, p. 180-188.

TONG, M.K.H, WANG, W.; KWAN, T.H.; CHAN, L.; AU, T.C. (2001) Water treatment for hemodialysis: review article, Hong Kong. *Journal of Nephrology*, v. 3, i. 1, p. 7-14

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Water: drinking water contaminants. Secondary drinking water regulations: Guidance for nuisance chemicals*. Disponível em: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/secondarystandards.cfm> Acessado em: 19 nov 2011.